干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j. issn. 1000 - 6060. 2019. 06. 23

阿勒泰地区植被覆盖度及 *ET* 对气温变化的响应①

韩飞飞[1]， 闫俊杰[2]， 郭 斌[3]

(1 石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832003； 2 伊犁师范大学资源与生态研究所,新疆 伊宁 835000；
3 山东科技大学测绘科学与工程学院,山东 青岛 266590)

摘 要: 研究气温对植被覆盖度和 *ET*(Evapotranspiration,*ET*)的影响,对干旱区应对气候变化、维系生态系统稳定具有重要意义。基于阿勒泰地区及周边 7 个气象站,CRU 数据集中的气温数据及 MODIS *ET* 数据,采用 Mann-Kendall 非参数检验、植被盖度反演等方法,对阿勒泰地区气温变化对植被覆盖度及 *ET* 的影响进行了研究。结果表明:(1)在 1901—2016 年过去的 116 a 间,阿勒泰地区年平均气温以 0.18 ℃·(10 a)$^{-1}$ 速率增加,在 1982 年由突变前的 2.2 ℃增加到突变后的 3.5 ℃。(2)2000—2017 年阿勒泰地区植被覆盖度变化的空间差异明显,植被覆盖度增加的面积与降低的面积总体相当;全区 66.71% 的区域植被覆盖度变化与气温呈负相关,而呈正相关的比例仅占 18.55%,且全区气温变暖而盖度降低区域的占比达 31.71%。(3)2000—2016 年阿勒泰地区 *ET* 总体呈降低趋势,整个区域 61.65% 的面积温度降低、*ET* 降低,而 19.92% 的区域表现为温度增加而植被 *ET* 降低。

关 键 词: 气温变化; 蒸散发; 生态系统; Mann-Kendall 检验; 阿勒泰地区

1824 年,法国数学家与物理学家约瑟夫·傅里叶(Joseph Fourier)提出了"温室效应"的概念。随着社会不断的发展,人类活动驱使大气中的温室气体含量不断增加,由化石燃料(例如:煤、石油、天然气等)所产生的 CO_2、水蒸气、CH_4 等气体经红外线辐射吸收留住能量,造成地表温度上升,加剧温室效应,导致全球气候变暖。为了预测气候变化的趋势,气象学家们用"气候敏感度"来表示由 CO_2 含量翻倍产生的全球地表温度的平均变化,由顶级全球气候模型估算出的气候敏感度为 3.6~8.1 °F[1]。近几十年来,由气温变化所导致的各种极端气候事件频频发生,给工农业生产和人类的正常生命活动带来了巨大的破坏[2-6]。正确认识和了解气候变化特征,并合理开发利用气候资源,对防范自然灾害,保护和改善生态环境,促进西部大开发战略的可持续发展,具有重大意义。

气温是影响生态系统特点和分布的主要气候因子之一,而植被覆盖度以及植被蒸散发(*ET*)是反映生态系统植被生长状况的重要指标[7-10]。在全球气候变化的大背景下,阿勒泰地区生态系统已然出现了严重的问题。例如:森林老化严重、生物多样性降低、植被盖度降低等[11]。目前关于气候变化对阿勒泰地区生态系统的影响的研究还很少。基于此,本文基于气温和植被遥感数据,借助 GIS 空间分析技术,分析阿勒泰地区气温和植被动态变化,揭示生态系统对气候变化的响应,以期为阿勒泰地区生态保护以及生态系统的可持续发展提供科学参考。

1 研究区概况

阿勒泰地区位于新疆北部,地处阿尔泰山南麓,准噶尔盆地北缘。行政包括阿勒泰市 1 个县级市以及布尔津县、哈巴河县、吉木乃县、福海县、富蕴县、青河县 6 个县。阿勒泰地区北部为阿尔泰山,西南部为沙吾尔山,南部是准噶尔盆地,西部开阔,地势东北高、西南低。气候上,阿勒泰地处欧亚大陆中心腹地,属于北温带寒冷区大陆性气候[11],多年平均

① **收稿日期:** 2019 - 02 - 17; **修订日期:** 2019 - 05 - 17
基金项目: 国家自然科学基金项目(31360101)
作者简介: 韩飞飞(1998 -),男,河南商丘人,本科,主要从事水文水资源研究. E-mail:hanfiefei2792@163.com
通讯作者: 闫俊杰(1984 -),男,河南林州市人,博士,讲师,主要从事遥感生态应用相关研究. E-mail:yan3550@sina.com

气温为 3.7 ℃,但气温年变化幅度大,最冷月份 1 月份与最热月份 7 月份相比,较差在 30 ℃以上[12];年日照时数从西北部至东南部青河县为 2 850 ~ 3 157.3 h。

2 基本数据与研究方法

2.1 数据来源

本文使用了 CRU 数据集中 1901—2016 年的月均气温数据。英国东英吉利(East Anglia)大学的气候研究中心(Climatic Research Unit,CRU)的高分辨率格点化数据集是目前全球使用最为广泛的近地面气候数据集之一。国内已有研究[13-14]表明 CRU 数据能较准确地描述中国大陆地区的气温特征,说明 CRU 资料可以用于中国大陆地区,因此,本研究利用 CRU 数据来研究阿勒泰地区的气候变化特征(图 1)。

本文用到的 *NDVI* 数据为 MODIS MOD13Q1 产品,空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d,时间序列为 2000 年 1 月 ~2017 年 12 月。*ET* 数据来自 MODIS MOD16A2 数据集,时间和空间分辨率分别为 8 d 和 1 000 m,时间序列为 2000 年 1 月 ~2016 年 12 月。MOD13Q1 和 MOD16A2 均由美国航空航天局(https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/)发布。对获得的 *ET* 及 *NDVI* 遥感数据进行了数据格式转换、镶嵌、投影转换及研究区提取等预处理,以及年累积 *ET* 数据及年最大值 *NDVI* 数据合成,以获得年累积*ET*和代表植被生长最好状况的年*NDVI* 数据。此外,利用 *NDVI* 年最大值数据和像元二分模型,反演获得年草地植被覆盖度数据。为保证 *ET* 数据和植被覆盖度数据的空间匹配,将 *ET* 数据栅格大小重采样为 250 m×250 m。

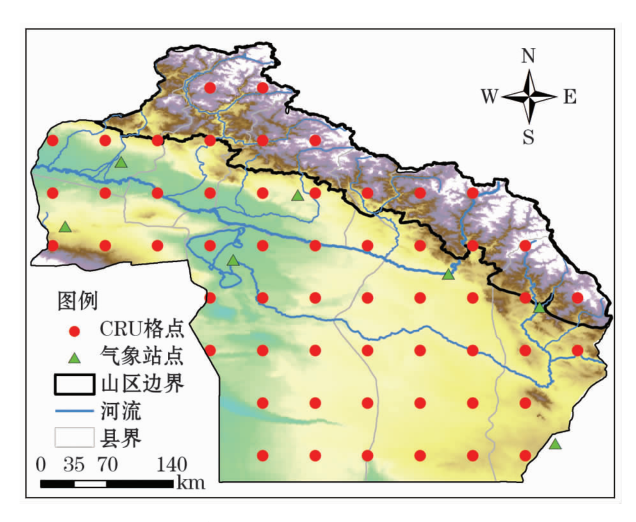


图 1 阿勒泰地区 7 个气象站的空间位置分布

Fig. 1 Spatial position distribution of 7 weather stations in Altay Prefecture

在分析气温与植被覆盖度及 *ET* 影响的过程中,气温数据采用来自阿勒泰及周边地区 7 个完整的国家级基准气象站(45° ~50°N,85° ~91°E)(图 1)2000—2017 年的逐日气象数据。该数据来源于中国气象科学数据共享服务网(http://data.cma.gov.cn/),数据真实、准确且完整。在气象站数据的基础上,本文借助于 Anusplin 4.2 软件及 DEM 数据,获得阿勒泰地区气温空间分布栅格数据,栅格大小设置为 250 m。

2.2 Mann-Kendall 非参数秩次统计检验法

在利用 Mann-Kendall 非参数检验[15-16]对气候要素和时间序列的可能趋势进行检验时,假设 H_0:表示时间序列($x_1,x_2,\cdots,x_n$)是数据样本相独立,不存在明显趋势;假设 H_1:是双边检验,对于所有的 i, j,且 $i\neq j$,x_i 和 x_j 的分布是不同的;检验的统计变量 S 计算公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{k=i+1}^{n}\mathrm{Sgn}(x_k - x_i) \tag{1}$$

S 为正态分布,均值为 0,方差为:

$$Var(s) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{t} t(t-1)(2t+5)\right]\Big/18 \tag{2}$$

式中:t 为每个单位的宽度;当 $n>10$ 时,Mann-Kendall 检验的统计量 Z_C 收敛于标准正态分布,并可通过下式计算:

$$Z_C = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S>0 \\ 0 & S=0 \\ \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S<0 \end{cases} \tag{3}$$

在双边的趋势检验中,在给定的 α 置信水平上,若$|Z_C|\geqslant Z_{1-\alpha/2}$,拒绝原假设 H_0,即在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。其中,变化趋势的大小可用 Kendall 倾斜度来表示,其计算公式如下:

$$\beta = \text{Median}\left[\frac{x_i - x_j}{i - j}\right] \tag{4}$$

式中：$1 < j < i < n$；β 表示的是斜率，正值表示"上升趋势"，负值表示"下降趋势"。

除用于趋势分析外，Mann-Kendall 方法还可用于突变检验。M-K 在进行突变分析时，可以明确突变开始的时间，并指出突变区域。对于 n 个样本量的时间序列 x，构造一秩序列：

$$S_k = \sum_{i=1}^{k} r_i,\ k = 2,3,\cdots,n \tag{5}$$

$$r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leqslant x_j \end{cases} \quad j = 1,2,\cdots,j \tag{6}$$

可见，秩序列 S_i 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。在时间序列随机独立的假定下，定义统计量。

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad k = 1,2,\cdots,n \tag{7}$$

其中：

$$E(S_k) = \frac{n(n-1)}{4}$$
$$Var(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \tag{8}$$

式中：UF_k 为标准正态分布，它是按时间序列 x 顺序 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 计算出的统计量序列，$UF_1 = 0$；$E(S_k)$，$Var(S_k)$ 是累计数 S_k 的均值和方差。给定显著性水平 α，查正态分布表，若 $|UF_i| > U_\alpha$，则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列 x 逆序 $x_n, x_{n-1}, \cdots, x_1$，再重复上述过程，计算 RB_k，同时使 $UB_k = -UF_k(K = n, n-1, \cdots, 1)$，$UB_1 = 0$。若 UF_k 或 UB_k 的值大于 0，表明序列呈上升趋势，反之序列呈下降趋势。当 UF_k 或 UB_k 超过临界值时，表明上升或下降趋势显著，超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点，并且交点在临界线之间，则交点对应的时刻便是突变的开始时间。

2.3 植被盖度反演

像元二分模型是目前植被覆盖度反演的有效方法[17]，其计算公式如下：

$$F_C = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \tag{9}$$

式中：F_C 为植被覆盖度；$NDVI_{soil}$ 为研究区纯裸土像元 $NDVI$ 值；$NDVI_{veg}$ 为纯植被像元 $NDVI$ 值。参考前人经验，分别取研究区 $NDVI$ 图像直方图的 5% 处和 95% 处 $NDVI$ 值作为 $NDVI_{soil}$ 值和 $NDVI_{veg}$ 值。

3 阿勒泰地区气温变化对生态系统的影响

3.1 气温变化的时空分布规律

利用 CRU 栅格数据，计算平均值，获得阿勒泰地区 1901—2016 年年平均气温，分析其变化特征。图 2 为 1901—2016 年阿勒泰地区年平均气温的时间变化特征，由图可知，近 116 a 阿勒泰地区多年年平均气温为 2.6 ℃。Mann-Kendall 非参数检验结果表明，1901—2016 年阿勒泰地区年平均气温以 0.18 ℃·(10 a)$^{-1}$ 的速率呈显著增加趋势 ($Z_C = 6.97$)。

图 3 为 1901—2016 阿勒泰地区年平均气温时间突变检验结果。Mann-Kendall 突变检验结果表

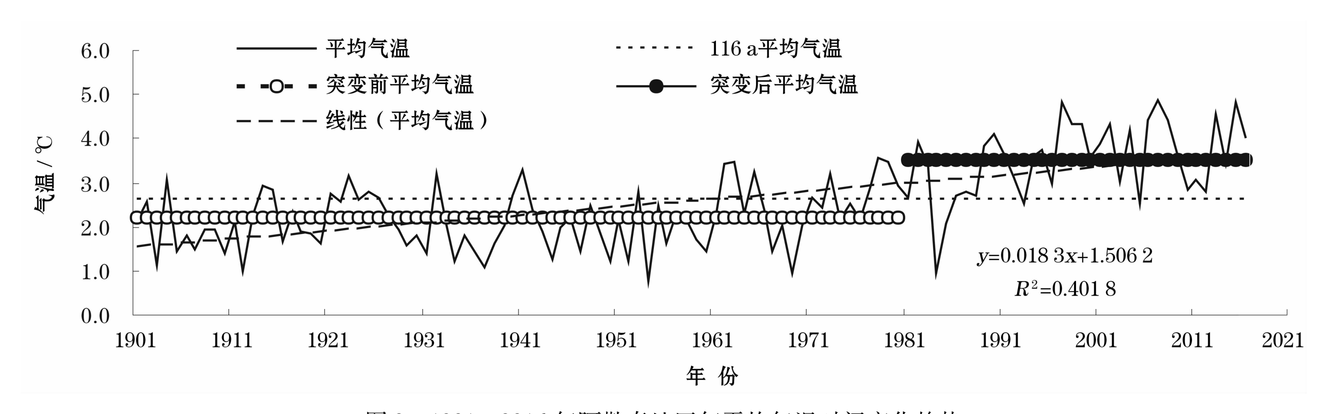


图 2 1901—2016 年阿勒泰地区年平均气温时间变化趋势

Fig. 2 Temporal variation trend of annual average temperature in Altay Prefecture from 1901 to 2016

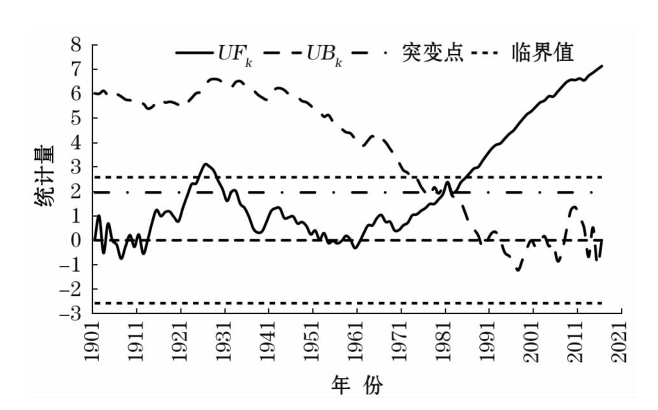


图 3　1901—2016 年阿勒泰地区年平均气温时间突变检验结果

Fig. 3　Test results of time mutation of annual mean temperature in Altay Prefecture from 1901 to 2016

明,阿勒泰地区年平均气温在 1982 年发生由低到高的突变,由突变前的 2.2 ℃增加到突变后的 3.5 ℃,上升了 1.3 ℃。

3.2　气温变化对植被覆盖度的影响

基于阿勒泰地区植被覆盖度空间分布时间序列数据,计算获得年平均植被覆盖数据,并利用IDL8.5 开发软件和 ArcGIS10.2 软件,以及 Mann-Kendall 趋势检验方法,进行逐像元计算,获得 2000—2017 年阿勒泰地区平均植被盖度变化趋势(图 4)及其空间分布(图 5)。此外,利用阿勒泰地区年平均气温以及植被覆盖度栅格数据,获得 2000—2017 年阿勒泰地区植被覆盖度与年平均气温相关系数空间分布图(图 6),以及气温和植被覆盖度变化趋势空间分布图,并对其进行叠加分析,获得植被盖度与年平均气温变化趋势交互类型图(图 7),分析气温对植被覆盖度的影响。

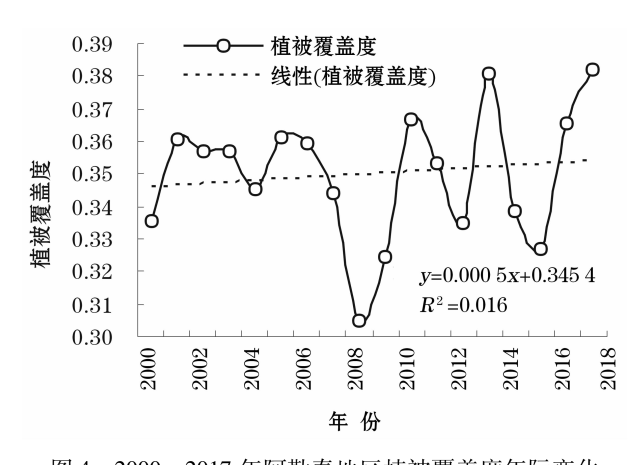


图 4　2000—2017 年阿勒泰地区植被覆盖度年际变化

Fig. 4　Interannual variation of vegetation cover in Altay Prefecture 2000—2017

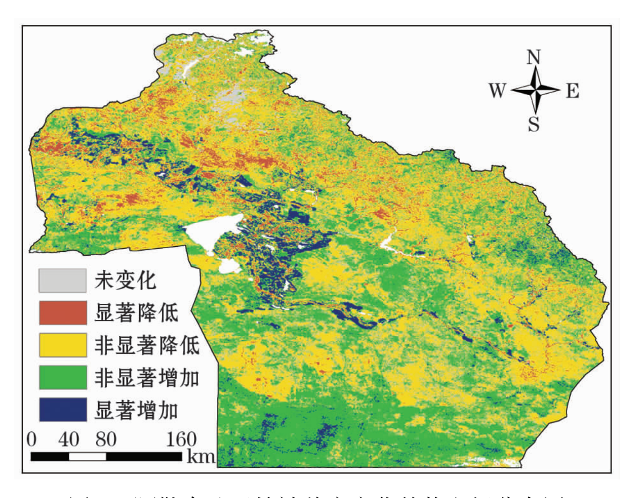


图 5　阿勒泰地区植被盖度变化趋势空间分布图

Fig. 5　Spatial distribution of trends in vegetation cover in the Altay Prefecture

3.2.1　植被覆盖度的时空变化　由图 4 可知,2000—2017 年阿勒泰地区植被覆盖整体呈现微弱的增加趋势。18 a 中,于 2008 年、2012 年及 2015 年出现明显谷值,于 2010 年、2013 年出现明显峰值,最大出现在 2013 年和 2017 年,为 0.38,最低值出现在 2008 年为 0.31。同时,从图 4 中还可以看出,2008 年前,植被覆盖度年际波动明显弱于 2008 年后。

空间上,由图 5 可知,阿勒泰地区植被覆盖度变化趋势空间差异明显。总体来看,植被覆盖度有所减少的区域主要分布在阿尔泰山西段和中段的山区、阿尔泰山山前地带,以及地区的西南、中部和东北部分平原区域。根据表 1 中的统计结果,整个地区植被覆盖度有所减少的面积比例为 47.69%,其中 4.99% 达到显著降低水平,空间上主要分布在地区西部的平原区和山前地带;植被盖度有所增加的面积比例为 45.46%,集中分布在地区中部、南部平原区、额尔齐斯河和乌伦古河河谷地带,以及阿尔泰山东段及西南角的部分山区;达到显著增加的比例为 4.83%,主要分布额尔齐斯河和乌伦古河河谷地带,以及南部的平原区。植被盖度未变化的面积比例为6.84%,空间上主要分布于阿尔泰山西段的部

表 1　阿勒泰地区植被覆盖度变化趋势等级比例

Tab. 1　Grade ratio of changing trend of vegetation cover in Altay Prefecture

变化趋势	显著降低	非显著降低	未变化	非显著增加	显著增加
比例/%	4.99	42.70	6.84	40.63	4.83

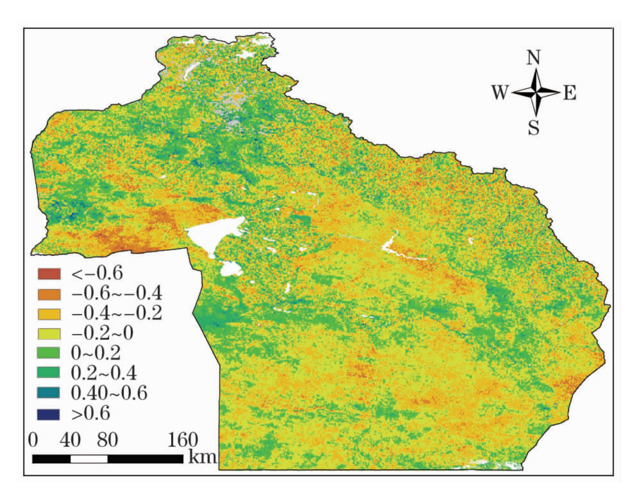


图 6 阿勒泰地区植被覆盖度与年平均气温相关系数空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution map of correlation coefficient between vegetation coverage and annual average temperature in Altay Prefecture

分区域。

3.2.2 气温变化对植被覆盖度的影响 图 6 为阿尔泰地区植被覆盖度与年平均气温相关系数空间分布图，从图中可以看出阿勒泰地区大部分区域植被覆盖度变化与气温呈负相关，根据表 2 中统计结果，其面积比例为 66.71%，而呈正相关的比例为 18.55%。具体来看，阿勒泰地区大部分区域植被覆盖度与年平均气温的相关系数较小，主要为 -0.2 ~ 0、0 ~ 0.2 及 -0.4 ~ -0.2，其比例分别达到了 40.31%、25.03% 和 22.26%。

图 7 为阿勒泰地区植被盖度与年平均气温交互类型空间分布图，从图中可以看出，阿勒泰地区植被盖度年际变化与气温年际变化的空间匹配特征差异明显，根据表 3 中统计结果，分别有 35.55% 和 31.37% 的区域温度降低而盖度增加和温度升高而盖度降低，分别有 16.58% 及 16.50% 的区域变暖而盖度增加和变冷而盖度降低。

表 2 阿勒泰地区植被覆盖度与年平均气温相关系数等级比例

Tab. 2 Grade ratio of correlation coefficient between vegetation coverage and annual average temperature in Altay Prefecture

	相关系数等级							
	< -0.6	-0.6 ~ -0.4	-0.4 ~ -0.2	-0.2 ~ 0	0 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6	>0.6
比例/%	0.27	3.87	22.26	40.31	25.03	7.35	0.88	0.04

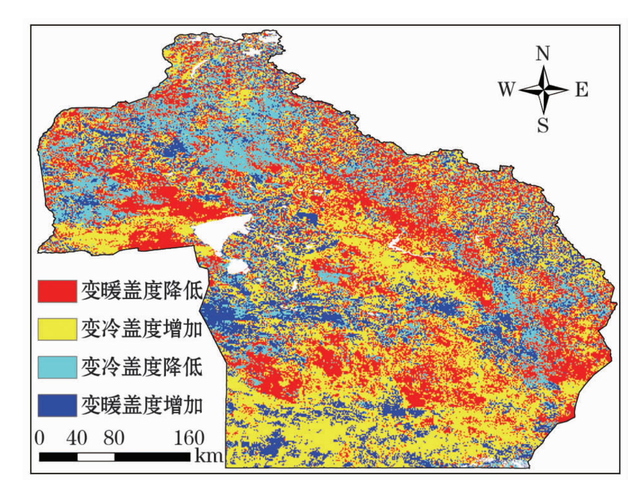


图 7 阿勒泰地区植被盖度与年平均气温交互类型空间分布图

Fig. 7 Spatial distribution map of interactive types of vegetation coverage and annual average temperature in Altay Prefecture

表 3 阿勒泰地区植被盖度与年平均气温交互类型面积比例

Tab. 3 Area ratio of interactive types of vegetation coverage and annual average temperature in Altay Prefecture

交互关系	变暖盖度增加	变冷盖度降低	变冷盖度增加	变暖盖度降低
比例/%	16.58	16.50	35.55	31.37

3.3 气温变化对植被 *ET* 的影响

3.3.1 植被 *ET* 时空变化 由图 8 中阿勒泰地区植被 *ET* 的年际变化曲线可知，2000—2016 年，阿勒泰地区植被 *ET* 总体呈降低趋势；2003—2008 年时段降低趋势明显，于 2008 年出现最低值，为 179.16 mm，2008 年后虽然有所增加，但年际波动加剧，于 2011 年、2012 年和 2014 年出现较大谷值，其值分别

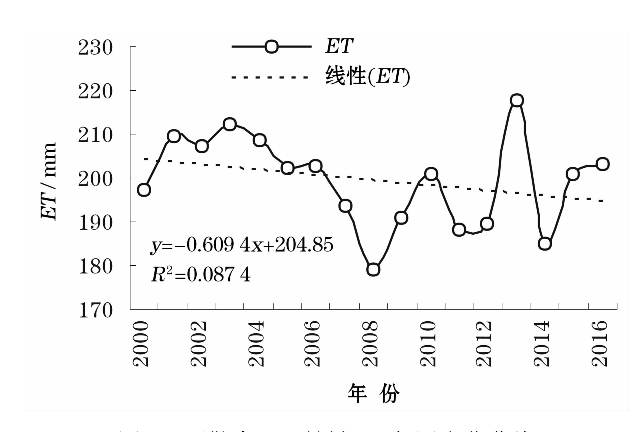


图 8 阿勒泰地区植被 *ET* 年际变化曲线

Fig. 8 Interannual variation curve of vegetation *ET* in Altay Prefecture

为 188.21 mm、189.65 mm 和 184.89 mm，于 2010 年和 2013 年出现较大峰值，其值分别为 200.70 mm 和 217.62 mm。

对阿勒泰地区植被 *ET* 变化的空间分布，就变化趋势来看，由图 9 可知，阿勒泰地区全区大部分区域植被 *ET* 呈现降低趋势，根据表 4 中统计，其比例达到了 83.68%，其中 6.84% 达到了显著降低水平，空间上主要分布于阿尔泰山中段、东段、西端的山前区域及乌伦古湖东北部等区域；*ET* 有所增加的比例为 16.32%，主要分布于阿尔泰山西段和中段的高山区域、乌伦古湖东部和南部以及阿勒泰西部平原区；其中 1.49% 达到显著水平，空间上主要分布于乌伦古湖东部。

3.3.2 气温变化对植被 *ET* 的影响 图 10 为阿勒泰地区植被 *ET* 与年平均气温相关系数空间分布图。由图可知，阿勒泰地区除平原区南部及阿尔泰山东部，很大部分区域植被 *ET* 与年平均气温呈正相关，根据表 5 中统计，其比例为 73.52%，其中，相关性系数为 0～0.2 和 0.2～0.4 的比例分别为 44.20% 和 24.95%，相关系数为负的比例为 26.48%，相关系数为 −0.2～0 的比例为 23.12%。可见阿勒泰地区气温变化对植被 *ET* 变化有较大影响。

图 11 为阿勒泰地区植被 *ET* 与年平均气温交

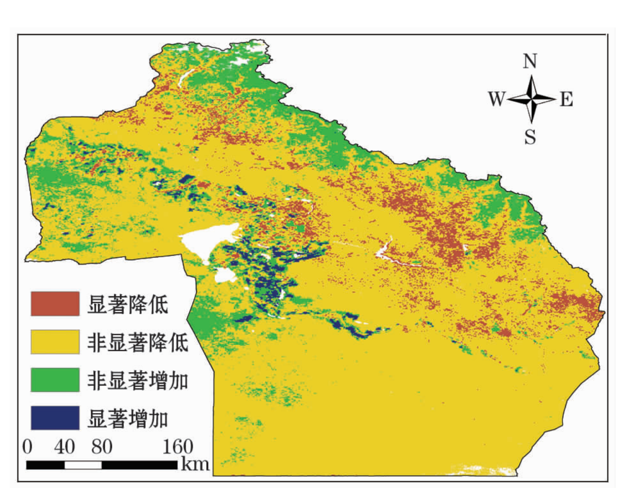


图 9 阿勒泰地区植被 *ET* 变化趋势

Fig. 9 Trends in vegetation *ET* in the Altay Prefecture

表 4 阿勒泰地区植被 *ET* 变化趋势等级比例

Tab. 4 Grade ratio of changing trend of vegetation *ET* in Altay Prefecture

变化趋势	显著降低	非显著降低	非显著增加	显著增加
比例/%	6.84	76.84	14.83	1.49

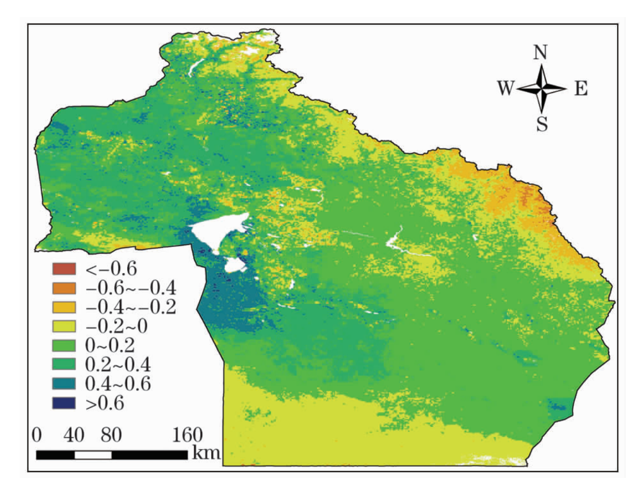


图 10 阿勒泰地区植被 *ET* 与年平均气温相关系数空间分布图

Fig. 10 Spatial distribution map of correlation coefficient between vegetation evapotranspiration and annual average temperature in Altay Prefecture

表 5 阿勒泰地区植被 *ET* 与年平均气温相关系数等级比例/%

Tab. 5 Grade ratio of correlation coefficient between vegetatio evapotranspiration and annual average temperature in Altay Prefecture

	相关系数等级			
	< −0.6	−0.6～−0.4	−0.4～−0.2	−0.2～0
比例/%	0.09	0.28	2.98	23.12
	相关系数等级			
	0～0.2	0.2～0.4	0.4～0.6	>0.6
比例/%	44.20	24.95	4.29	0.08

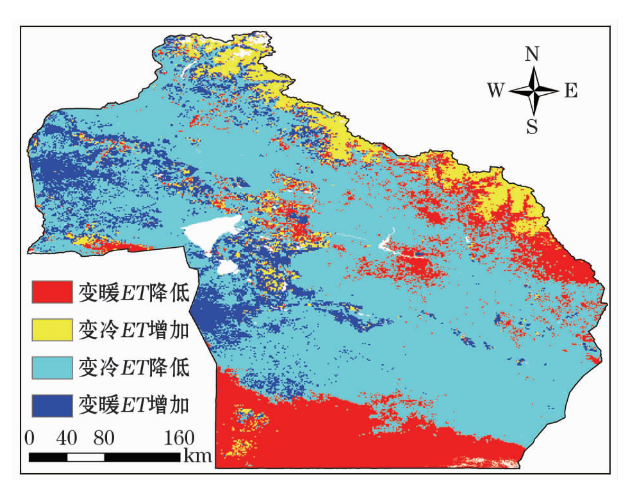


图 11 阿勒泰地区植被 *ET* 与年平均气温交互关系空间分布图

Fig. 11 Spatial distribution map of interactive types of vegetation evapotranspiration and annual average temperature in Altay Prefecture

互关系空间分布图,由图可知,阿勒泰地区植被 *ET* 年际变化与气温年际变化的空间匹配特征存在一定差异,整个区域变冷 *ET* 降低占很大面积,其比例为 61.645%,其次为变暖植被 *ET* 降低,其比例为 19.92%,变暖植被 *ET* 增加和变冷植被 *ET* 增加的比例分别为 11.88% 和 6.55%(表 6)。

表 6 阿勒泰地区植被 *ET* 与年平均气温交互类型面积比例

Tab. 6 Area ratio of interactive types of vegetation evapotranspiration and annual avera temperature in Altay Prefecture

交互关系	变暖 *ET* 增加	变冷 *ET* 降低	变冷 *ET* 增加	变暖 *ET* 降低
比例/%	11.88	61.64	6.55	19.92

4 讨 论

综上分析,在 1901—2016 年的 116 a 间,阿勒泰地区年均气温显著升高。李焕等[18]通过小波变换、*R/S* 分析等方法研究表明:1961—2007 年阿勒泰地区夏季平均最高气温在波动中整体呈上升趋势,年均气温在 1982 年发生由低到高的突变,本文研究结果与其相一致。出于经济发展的需求,近年来阿勒泰地区工农业发展迅速,而损害了当地的生态效益,在全球变暖大背景下,阿勒泰当地年均气温显著上升,对当地植被盖度以及蒸散发都产生了一定的影响。

阿勒泰地区植被覆盖度变化趋势空间差异明显,植被盖度增加的区域与降低的区域的比例相当,全区植被覆盖度变化总体表现为微弱增加。全区中河谷农垦区植被覆盖度增加显著,这与魏小琴等[19]研究结果一致。同时气温变化与植被盖度变化的交互关系表明分别有 35.55% 和 31.37% 的区域呈现出变冷盖度增加和变暖盖度降低的非协调变化,气温变化对植被覆盖度的影响有限,而农垦区植被盖度的显著增加也间接表明人类的影响对植被覆盖度的变化具有重要影响[20]。

针对气温变化对 *ET* 影响,苏布达等[21]基于 17 个全球气候模式分析了全球升温 1.5 ℃和 2.0 ℃情景下中国实际蒸散发时空变化特征,表明气温升高后中国实际蒸散发将发生增加,其中西北诸河西南部等地增加明显。然本文分析结果与其存在一定差异,阿勒泰地区植被 *ET* 总体呈降低趋势,且仅有 11.88% 的区域变暖后植被 *ET* 有增加。*ET* 包含了植被蒸腾和土壤蒸发两个重要分量,虽然气温对植物蒸腾和土壤蒸发有重要影响,但植被覆盖度的变化也在其 *ET* 变化中占有重要角色[22-23],可见,阿勒泰地区由于人为及自然等因素所致使的植被覆盖度的变化使得气温变化对植被 *ET* 的影响变的更为复杂。

5 结 论

本文利用阿勒泰及周边地区 7 个完整的国家级基准气象站逐日气象数据以及 CRU 月均气温数据,通过 Mann-Kendall 非参数统计检验等方法,分析了阿勒泰地区气温、植被覆盖度及 *ET* 的变化特征,以及气温变化变化对植被覆盖度和植被蒸散发的影响,结论如下:

(1) 在全球变暖的大背景下,阿勒泰地区年平均气温表现为显著的增温趋势,根据 Mann-Kendall 非参数统计检验,在 1901—2016 年的 116 a 间,阿勒泰地区年平均气温气温以 0.18 ℃·(10 a)$^{-1}$速率增加。年均气温在 1982 年发生由低到高的突变,气温由突变前的 2.2 ℃增加到突变后的 3.5 ℃。

(2) 2000—2017 年阿勒泰地区植被覆盖整体呈现微弱的增加趋势,大部分区域植被覆盖度变化与气温呈负相关,其面积比例为 66.71%,而呈现正相关的比例仅占 18.55%,整个区域气温变暖而盖度降低占比达 31.71%。

(3) 阿勒泰地区全区大部分区域植被 *ET* 呈现减低趋势,其比例达到了 83.68%,除平原区南部及阿尔泰山东部,很大部分区域植被 *ET* 与年平均气温呈正相关,其比例为 73.52%。整个区域 61.645% 的面积温度降低 *ET* 降低,而 19.92% 的区域表现为温度增加而植被 *ET* 降低。

参考文献(References)

[1] CULLEN Heidi. The weather of the future[M]. New York:Harper,2010:42-44.

[2] 宋连春,张存杰. 20 世纪西北地区降水变化特征[J]. 冰川冻土,2003,25(2):143-148. [SONG Lianchun,ZHANG Cunjie. Changing features of precipitation over north China during the 20th century[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2003,25(2):143-148.]

[3] 刘吉锋,丁裕国,江志红. 全球变暖加剧对极端气候概率影响的初步探讨[J]. 高原气象,2007,26(4):837-842. [LIU Jifeng, DING Yuguo, JIANG Zhihong. The influence of aggravated

global warming on the probability of extreme climatic event[J]. Plateau Meteorology,2007,26(4):837 - 842.]

[4] 荣艳淑,余锦华,段丽瑶. 20 世纪 80 和 90 年代华北干旱特征及成因分析[J]. 高原气象,2007,26(2):319 - 225. [RONG Yanshu, YU Jinhua, DUAN Liyao. Causes and comparison of droughts of north China in 1980's and 1990's [J]. Plateau Meteorology,2007,26(2):319 - 225.]

[5] 晋绿生,赵俊荣. 2000 年冬季阿勒泰区域性大—暴雪成因分析[J]. 新疆气象,2002,25(4):9 - 11. [JIN Lüsheng,ZHAO Junrong. The analysis on the cause of the regional severe snowstorm in Altay in winter of 2000[J]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology, 2002,25(4):9 - 11.]

[6] 李崇银,杨辉,顾薇. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分析[J]. 气候与环境研究,2008,13(2):113 - 122. [LI Chongyin, YANG Hui,GU Wei. Cause of severe weather with cold air,free rain and snow over south China in January 2008[J]. Climatic and Environmental Research,2008,13(2):113 - 122.]

[7] 张琨. 遥感蒸散发模型参数敏感性分析与优化方法研究[D]. 兰州:兰州大学,2018. [ZHANG Kun. Parameter sensitivity analysis and optimization for remote sensing based evapotranspiration model[D]. Lanzhou:Lanzhou University,2018.]

[8] 李一哲,张廷龙,孙睿,等. 一个基于气象和遥感数据的植被生产力估算模型[J]. 西北林学院学报,2017,32(2):230 - 236. [LI Yizhe,ZHANG Tinglong,SUN Rui,et al. A model of estimation productivity based on meteorological and remote sensing data [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32 (2): 230 - 236.]

[9] 李作伟,吴荣军,马玉平. 气候变化和人类活动对三江源地区植被生产力的影响[J]. 冰川冻土,2016,38(3):804 - 810. [LI Zuowei,WU Rongjun,MA Yuping. Impact of climate change and human activities on vegetation productivity in the Three-River Headwaters[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2016,38 (3):804 - 810.]

[10] 候勇,陈文龙,钟成. 内蒙古地区植被覆盖度时空变化遥感监测[J]. 东北林业大学学报,2018,46(11):35 - 40. [HOU Yong,CHEN Wenlong,ZHONG Cheng. Time and spatial variations of fractional vegetation coverage in Inner Mongolia by sensing monitoring[J]. Journal of Northeast Forestry University,2018,46 (11):35 - 40.]

[11] 李焕,白松竹. 阿勒泰地区旅游气候指数及评价[C]//第 27 届中国气象学会年会气候资源应用研究分会场论文集,2010. [LI Huan,BAI Songzhu. Tourism climate and evaluation of comfortableness in Altai,Xinjiang[C]//Proceedings of the Climate Resources Applied Research Exposition at the 27th Annual Meeting of the Chinese Meteorological Society,2010.]

[12] 李帅,李祥余,何清,等. 阿勒泰地区近 40 年的气候变化研究[J]. 干旱区研究,2006,23(4):125 - 131. [LI Shuai,LI Xiangyu,HE Qing,et al. Study on climate change in Altay prefecture since recent 40 years[J]. Arid Zone Research,2006,23(4): 125 - 131.]

[13] 王丹,王爱慧. 1901—2013 年 GPCC 和 CRU 降水资料在中国大陆的适用性评估[J]. 气候与环境研究,2017,22(4):446 - 462. [WANG Dan, WANG Aihui. Applicability assessment of GPCC and CRU precipitation products in China during 1901 to 2013[J]. Climatic and Environmental Research,2017,22(4): 446 - 462.]

[14] 黄秋霞,赵勇,何清. 基于 CRU 资料的中亚地区气候特征[J]. 干旱区研究,2013,30(3):396 - 403. [HUANG Qiuxia,ZHAO Yong,HE Qing. Climatic characteristic in central Asia based on CRU data[J]. Arid Zone Research,2013,30(3):396 - 403.]

[15] KENDALL M G. Rank correlation methods[M]. London:Charles Gfifin Company,1975.

[16] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945,13(3):245 - 259.

[17] 陈妍,宋豫秦,王伟. 基于随机森林回归的草场植被盖度反演模型研究——以新疆阿勒泰地区布尔津县为例[J]. 生态学报,2018,38(7):2384 - 2394. [CHEN Yan, SONG Yuqin, WANG Wei. Grassland vegetation cover inversion model based on random forest regression:A case study in Burqin County,Altay, Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(7):2384 - 2394.]

[18] 李焕,白松竹,王干成. 阿勒泰地区 1901—2007 年夏季平均最高气温及高温日数变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8 (3):56 - 60. [LI Huan,BAI Songzhu,WANG Gancheng. Characteristics of maximum temperature and high temperature days in summer in Altay during 1961—2007[J]. Desert and Oasis Meteorology,2014,8(3):56 - 60.]

[19] 魏小琴,巴特尔·巴克,吴燕锋,等. 2000—2013 年阿勒泰地区植被覆盖变化研究[J]. 林业资源管理,2015,(3):53 - 58. [WEI Xiaoqin, BATUR Bake, WU Yanfeng, et al. Variation of vegetation coverage in Altay area from 2000 to 2013[J]. Forest Resources Management,2015,(3):53 - 58.]

[20] 魏小琴. 阿勒泰地区 NDVI 变化及其主要驱动因子分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2015. [WEI Xiaoqin. Analysis of NDVI change and its main drivers in Altay region[D]. Urumqi:Xinjiang Agricultural University,2015.]

[21] 苏布达,周建,王艳君,等. 全球升温 1.5 ℃和 2.0 ℃情景下中国实际蒸散发时空变化特征[J]. 中国农业气象,2018,39 (5):293 - 303. [SU Buda,ZHOU Jian,WANG Yanjun,et al. Spatial and temporal variation of actual evapotranspiration in China under the 1.5 ℃ and 2.0 ℃ global warming scenarios[J]. Chinese Journal of Agrometeorology,2018,39(5):293 - 303.]

[22] 姜红. 基于 MODIS 影像的新疆奇台县区域蒸散发量的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007. [JIANG Hong. Study on regional steam emission in Qitai County of Xinjiang based on MODIS images[D]. Urumqi:Xinjiang University,2007.]

[23] 付刚,沈振西,张宪洲,等. 基于 MODIS 影像的藏北高寒草甸的蒸散模拟[J]. 草业学报,2010,19(5):103 - 112. [FU Gang,SHENG Zhengxi,ZHANG Xianzhou,et al. Modeling the evapotranspiration of an alpine meadow ecosystem in the northern Tibet Plateau based on MODIS images[J]. Acta Prataculturae Sinica,2010,19(5):103 - 112.]

Response of vegetation cover and *ET* to temperature variation in Altay Prefecture

HAN Fei-fei[1], YAN Jun-jie[2], GUO Bin[3]

(1 *College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi* 832003, *Xinjiang, China*; 2 *Institute of Resources and Ecology, Yili Normal University, Yining* 835000, *Xinjiang, China*; 3 *College of Surveying and Mapping Science and Engineering, Shandon University of Science and Technology, Qingdao* 266590, *Shandong, China*)

Abstract: Studying the impact of temperature on vegetation coverage and evapotranspiration is of great significance to cope with climate variation and maintain the healthy operation of ecosystem in arid areas. Based on the Mann-Kendall non-parametric test and the FVC inversion method, the characteristics of climate variation in Altay Prefecture, Xinjiang, China was studied to investigate the impact of this climate change on the vegetation coverage and evapotranspiration, using the temperature data from seven meteorological stations and CRU data sets for the region. The results showed as follows: (1) During the past 116 years from 1901 to 2016, the annual average temperature in Altay region was increased at the rates of 0.18 ℃ · $(10\ a)^{-1}$. An abrupt change of the annual mean temperature occurred in 1982 which made the accumulated change of the annual mean temperature increased by 2.2 ℃ before this year and an increase by 3.5 ℃ after it. (2) From 2000 to 2017, the vegetation coverage in Altay region showed a weak increasing trend. During the past 18 years, there were obviously peak values and the lowest value was 0.31 in 2008. In addition, before 2008, the annual fluctuation of vegetation coverage was significantly weaker than that after 2008. The change of vegetation coverage was negatively correlated with temperature in most areas of Altay, with a high proportion of 66.71%, but the proportion of positive correlation was only 18.55%, and the areas with temperature increase but a vegetation coverage reduction accounted for 31.71% of the whole area. (3) From 2000 to 2016, vegetation evapotranspiration in Altay region showed a decreasing trend in general, and there is an obvious decreasing trend from 2003 to 2008. In 2008, the lowest value is 179.16 mm. Although there has been an increase sign since 2008, the inter-annual fluctuations have been intensified. As a result, the overall vegetation evapotranspiration in Altay presents a decreasing tread from 2000 to 2016. Throughout the region, the areas with temperature decrease and *ET* reduction accounted for 61.65%, and a proportion of 19.92% of presented the phenomenon with temperature increase but *ET* reduction.

Key words: temperature variation; evapotranspiration; ecosystem; the Mann-Kendall test; Altay Prefecture